

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



(19)

(11) Publication number: 05108108 A

Generated Document

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 03135941

(51) Intl. Cl.: G05B 13/02 B25J 13/00 G05B 19/403

(22) Application date: 10.05.91

(30) Priority:

(43) Date of application
publication: 30.04.93(84) Designated
contracting states:

(71) Applicant: NOK CORP

(72) Inventor: MASUDA TAIICHI

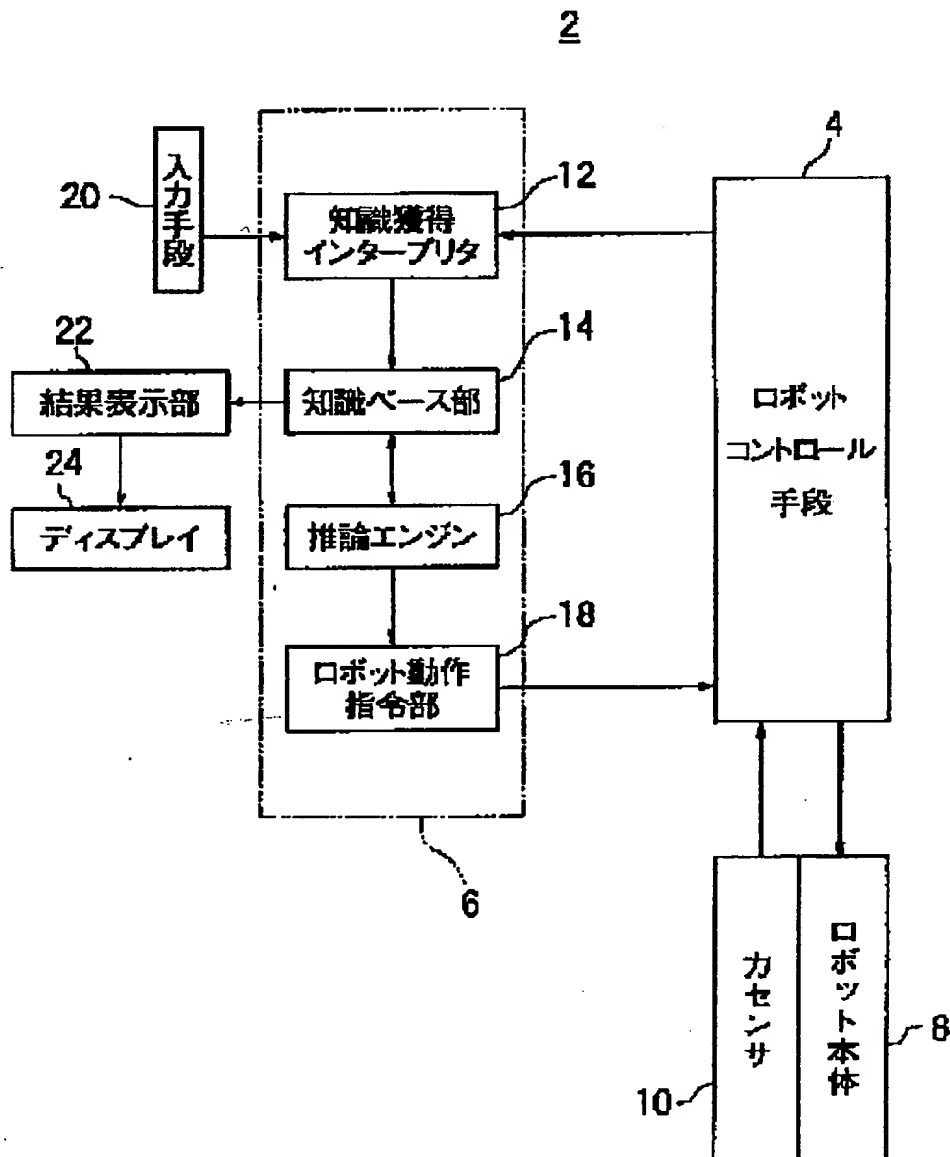
(74) Representative:

(54) COMPLIANCE CONTROL
METHOD AND CONTROLLER

(57) Abstract:

PURPOSE: To use a robot for the wider use by changing and adjusting autonomously a compliance parameter necessary for the compliance orbit generating operation at the compliance control based on the prescribed rule stored in a knowledge base and changing freely the flexibility of the action of the driving part during the action of the robot.

CONSTITUTION: The effective range of a parameter used for the compliance orbit generating operation, the rule, etc., at the time these parameters are set, are stored in a knowledge base part 14, and by the inference function of a knowledge base system including the knowledge base part 14, the value of a suitable compliance parameter and a suitable range are inferred, and based on the inference result, the compliance parameter is adjusted, the compliance control is performed, the flexibility of the driving part of the robot is autonomously updated, and each time the work to perform the compliance control is performed, the inference result is stored, and the inference at the next compliance control is referred to.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-108108

(43)公開日 平成 5 年(1993) 4 月30日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B 13/02	M	9131-3H		
B 2 5 J 13/00	Z	9147-3F		
G 0 5 B 19/403	V	9064-3H		

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平3-135941

(22)出願日 平成 3 年(1991) 5 月10日

(71)出願人 000004385

エヌオーケー株式会社

東京都港区芝大門 1 丁目12番15号

(72)発明者 増田 泰一

茨城県つくば市和台25番地 エヌオーケー

株式会社内

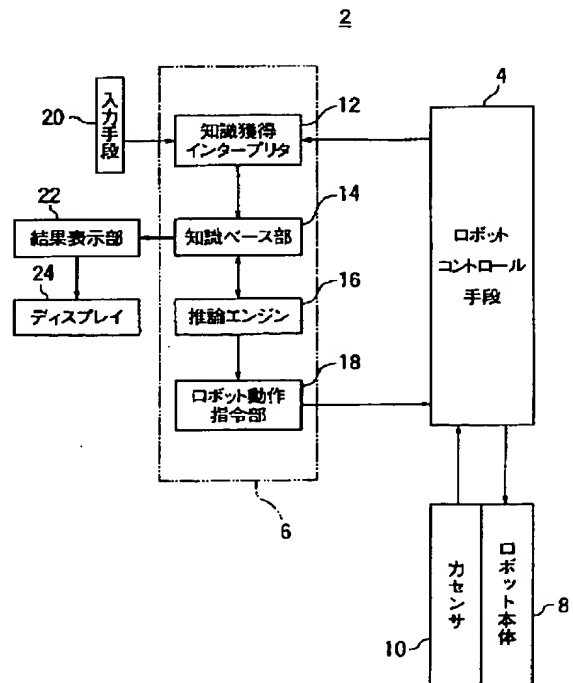
(74)代理人 弁理士 佐藤 隆久

(54)【発明の名称】 コンプライアンス制御方法及び制御装置

(57)【要約】

【目的】 本発明の目的は、コンプライアンス制御におけるコンプライアンス軌道生成演算に必要なコンプライアンスパラメータを、知識ベースに記憶してある所定のルールに基づき自律的に変更調節し、ロボットの動作中に、その駆動部の動きの柔らかさを自在に変化させ、より広範な用途にロボットを用いることである。

【構成】 本発明では、コンプライアンス軌道生成演算に用いるパラメータの有効な範囲、及びこれらパラメータを設定する際のルール等を知識ベース部 14 に記憶させ、この知識ベース部 14 を含む知識ベースシステムの推論機能により、適正なコンプライアンスパラメータの値及び適正な範囲を推論し、この推論結果に基づき、コンプライアンスパラメータを調節しつつコンプライアンス制御を行い、自律的にロボットの駆動部の柔らかさを更新すると共に、コンプライアンス制御を行った作業毎に上記推論結果を記憶させ、次のコンプライアンス制御における推論の参照にする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロボットの駆動部に作用する外力に応じてその外力の作用する方向に逃げるならい機構を、フィードバック制御で実現するコンプライアンス制御方法において、

コンプライアンス軌道生成演算に用いる仮想質量パラメータ、仮想ダンパパラメータ及び仮想バネパラメータの有効な範囲、及びこれらパラメータを設定する際のルール等を知識ベース部に記憶させ、この知識ベース部を含む知識ベースシステムの推論機能により、適正なコンプライアンスパラメータの値及び適正な範囲を推論し、この推論結果に基づき、コンプライアンスパラメータを調節しつつコンプライアンス制御を行い、自律的にロボットの駆動部の柔らかさを更新すると共に、コンプライアンス制御を行った作業毎に上記推論結果を記憶させることを特徴とするコンプライアンス制御方法。

【請求項2】 ロボットの駆動部に作用する外力に応じてその外力の作用する方向に逃げるならい機構を、フィードバック制御で実現するコンプライアンス制御装置であって、

ロボットのコンプライアンス制御を行うロボットコントロール手段と、

このロボットコントロール手段から送られてくるロボットの現在位置データ及びロボットに作用する外力等の実時間データ等を読み取ると共に、対象となる作業に必要なデータ及びコンプライアンスパラメータを適正值に調節するためのルール等の知識を獲得する知識獲得インタープリタと、

知識獲得インタープリタで獲得されたデータ及び知識を記憶する知識ベース部と、

知識ベース部に記憶してあるデータ及び知識に基づき、最適なコンプライアンス制御動作を推論する推論エンジンと、

推論エンジンにおける推論結果に基づく制御指令をロボットコントロール手段に送るロボット動作指令部とを有し、

上記推論結果を、対象となる作業毎に知識ベース部に記憶させ、次のコンプライアンス制御における推論の参照にするように構成したことを特徴とするコンプライアンス制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、コンプライアンス制御におけるコンプライアンス軌道生成演算に必要なコンプライアンスパラメータを、知識ベースに記憶してある所定のルールに基づき自律的に変更調節することが可能なコンプライアンス制御方法及びコンプライアンス制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 一般の産業用ロボットは、位置剛性が高

いため、ワーク相互が接触するような作業、例えば嵌合作業には不向きであり、従来では専ら部品のピックアップないしブレーシング作業に用いられている。このような不都合を解消するため、産業用ロボットにおけるロボットハンドなどのロボットの駆動部の柔軟性を向上させる方法として、コンプライアンス制御が開発されている。このコンプライアンス制御は、ロボットの駆動部にバネ及びダンパ等を連結した場合と同様に、ロボットの駆動部に作用する外力に応じてその外力の作用する方向に逃げるならい機構を、フィードバック制御で実現するものである。代表的な6自由度コンプライアンス機構を図8に示し、このようなコンプライアンス機構を、機械的なバネやダンパなどを用いることなく、カフィードバック制御で実現するための代表的なコンプライアンス制御のブロック図を図9に示す。図9中、Kは仮想バネ係数行列であり、Aは仮想質量行列を変数とする関数、 Γ は仮想質量行列及び仮想ダンパ係数行列を変数とする関数であり、Iは単位行列である。

【0003】 コンプライアンス制御の向上を図るため、特開平1-142812号公報に示すように、コンプライアンスパラメータを環境の剛性に応じて変更する制御装置も開発されている。この公報には、このような制御によれば、ロボットが接触する環境が分からない時でも、制御系に最適なコンプライアンス常数を自動的に定めることができる旨が開示してある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記公報に開示してある技術では、コンプライアンスパラメータとして変更できるパラメータを仮想バネ係数のみとしており、しかも、その値も、制御系が安定となる範囲から自動的に決定される制御となっているため、対応できる環境が限定され、より広い用途にコンプライアンス制御を使用しようとする場合に問題があった。しかも、この公報には、コンプライアンスパラメータを環境の剛性に応じて変更せしめるように構成した技術が開示してあるが、一定のルールに基づき、自律的にコンプライアンスパラメータを調節できる技術を開示している訳ではなかった。

【0005】 本発明は、このような実状に鑑みてなされ、コンプライアンス制御におけるコンプライアンス軌道生成演算に必要なコンプライアンスパラメータを、知識ベースに記憶してある所定のルールに基づき自律的に変更調節し、ロボットの動作中に、その駆動部の動きの柔らかさを自在に変化させ、より広範な用途にロボットを用いることを可能にしたコンプライアンス制御方法及び制御装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 このような目的を達成するために、本発明は、コンプライアンス軌道生成演算に用いる仮想質量パラメータ、仮想ダンパパラメータ及び

仮想バネパラメータの有効範囲、及びこれらパラメータを設定する際のルール等を知識ベース部に記憶させ、この知識ベース部を含む知識ベースシステムの推論機能により、適正なコンプライアンスパラメータの値及び適正な範囲を推論し、この推論結果に基づき、コンプライアンスパラメータを調節しつつコンプライアンス制御を行い、自律的にロボットの駆動部の柔らかさを更新すると共に、コンプライアンス制御を行った作業毎に上記推論結果を記憶させ、次のコンプライアンス制御における推論の参照にすることを特徴としている。

【0007】

【作用】このような本発明に係るコンプライアンス制御方法では、人間の経験的な知識や判断を利用したコンプライアンス動作をロボットに記憶させ、実行できる。すなわち、作業の状況に応じたコンプライアンス動作のパターンを知識ベース化することにより、複雑な作業パターンをロボットに動作させることができ、人間の動きに近い柔軟な動作を実現できる。

【0008】

【実施例】以下、本発明の一実施例に係るコンプライアンス制御方法及び制御装置を、図面を参照しつつ、詳細に説明する。図1は本発明の一実施例に係るコンプライアンス制御装置の全体を示す概略ブロック図、図2はロボットの動作の一例を示す概略図、図3は知識ベース部に記憶してある知識の一例を示す概略図、図4、5はロボットを用いて丸棒の嵌合作業を行う場合の概略図、図6、7はロボットを用いて丸棒の嵌合作業を行う場合における知識ベース部に記憶してある知識の一例を示す図である。

【0009】まず、本発明の一実施例に係るコンプライアンス制御装置について説明する。図1に示すように、*

$$m_x \left(d^2 x / dt^2 \right) + c_x \left(dx / dt - dx' / dt \right) + k_x \left(x - x' \right) = s_x \left(f_x - f'_x \right)$$

ただし、 m_x : X軸方向の平行力に対する仮想質量

c_x : X軸方向の平行力に対する仮想ダンパ

k_x : X軸方向の平行力に対する仮想バネ

s_x : X軸方向の平行力に対する選択係数

x : X軸方向のコンプライアンス軌道上の位置

x' : X軸方向の目標軌道上の位置

f_x : X軸方向の平行力の実測値

f'_x : X軸方向の平行力の目標値

【00013】上述の式は、x軸の平行力に対するコンプライアンス軌道生成演算のための基本式であるが、y軸、z軸の平行力及びx、y、z軸の回転力に対するコンプライアンス軌道生成演算のための基本式も同様である。上記式において、 m_x 、 c_x 、 k_x 、 s_x (m_y 、 c_y 、 k_y 、 s_y 、 m_z 、 c_z 、 k_z 、 s_z も同様)がコンプライアンスパラメータである。

【00014】コンプライアンス自動調節手段6は、知識獲得インタープリタ12と、知識ベース部14と、推

*本発明の一実施例に係るコンプライアンス制御装置2

は、ロボットコントロール手段4と、コンプライアンス自動調節手段6とを有し、これら手段4、6間で双方向の通信を行い、ロボットの駆動部の動作や、駆動部の柔軟性を自律的に制御するようになっている。

【00010】ロボットコントロール手段4は、ロボット本体8をコンプライアンス制御するためのものであり、ロボット本体8の駆動部を制御するようにロボット本体8に接続されると共に、ロボットの駆動部に設けられた6軸力センサ10からの検知信号が入力されるようになっている。ロボットコントロール手段4としては、例えば、VMEバスによって連結されたマルチCPUシステムが採用されたシステムが好ましく、ロボット制御に必要な制御処理を、それぞれマイクロコンピュータで構成された複数の中央処理装置(CPU)で分担することが好ましい。

【00011】例えば、ある所定のCPUでは、ロボット座標における目標軌道の生成演算を行い、その他の所定のCPUでは、ロボットのモータのサーボコントロール、力センサのA/D変換等を行い、その他の所定のCPUでは、コンプライアンス制御、逆運動学、力センサの補正の計算などを行うのである。この実施例では、ロボット本体8の駆動部には、相互に直行するX、Y、Z軸に対してそれぞれ平行な3平行力と、各軸回りの3回転力との合計6個の外力が作用するものとする。この制御機構を概念的に示すと、図8に示すような機構となる。

【00012】コンプライアンス制御における例えばX軸方向の平行力に対するコンプライアンス軌道の計算は、次の式をxについて解くことにより得られる。

論エンジン16と、ロボット動作指令部18とから構成される。知識獲得インタープリタ12は、ロボットコントロール手段4から、ロボットの現在位置データ及び力センサ10により検出した外力等の実時間データ等の読み込みや、入力部20から対象となる作業に必要なデータ(特にコンプライアンスパラメータの有効範囲等のデータ)あるいはコンプライアンスパラメータを適正值に調節するためのルール等の知識を獲得し、これらデータ及び知識を、知識ベース部14に出力する作用を有する。

【00015】知識ベース部14では、上記インタープリタ12で獲得したデータやルールなどの知識をコンピュータのメモリ等に格納する。知識の種類としては、大別して、宣言的知識と、手続き的知識とがある。宣言的知識は、「～は～である」と言うように事物や事象を表わし、ロボットの駆動部としての手先の位置、姿勢、手先に加わる外力、あるいは作業対象の情報等として考え

ることができる。手続きの知識は、「～ならば～する」という手順、手続きを表わす知識で、ロボットの動作を計画する知識や情報を処理する知識として考えることができる。

【00016】本実施例では、これらの2種類の知識を効果的に扱えるように、主に宣言的知識をフレームモデルで表現し、手続きの知識をプロダクションルールモデルで表現することにする。これに対応して、知識ベース14の構成もフレームモデルシステムとプロダクションシステムとを統合したハイブリッド型とすることが好ましい。推論エンジン16では、知識ベース部14に格納してあるデータやルールに基づき、最適なコンプライアンス制御動作を推論する。推論の過程や結果は、知識ベース部に接続してある結果表示部22を介してディスプレイ24に実時間で表示可能になっている。推論エンジン16で推論された結果に基づき、ロボット動作指令部18では、ロボットコントロール手段4に対し、ロボットの動作指令信号や手先の柔軟性に関する指令信号を出力する。コントロール手段4では、その指令信号に基づき、ロボット本体8を制御する。

【00017】推論エンジン16における推論に使用されるルールの実行部には、特に各軸に対応したコンプライアンスパラメータを変更するためのコマンドを指定することができるようにすることが好ましく、ロボットの現在位置、姿勢あるいはロボットに作用する外力等を実時間で解析しながら、適正なコンプライアンスパラメータを求める推論を行い、自律的にロボットの柔軟性を制御するようになっている。また、推論により求められたコンプライアンスパラメータ等のデータは、対象となる作業毎に知識ベース部に登録され、次回にコンプライアンスパラメータを推論する際の参考にできるようにする。

【00018】推論エンジン16で行う推論の具体例について説明する。知識ベース14の構成を、前述したようにフレームモデルシステムとプロダクションシステムとを統合したハイブリッド型とした場合には、フレームモデルシステム部は、主にロボットの知覚に相当するデータ処理を行う。フレームのスロットには、例えばif-needed, if-called, if-addedという3種類の条件で付加手続き(デーモン)が起動できるようになっている。これは、ロボットの情報を処理する手続きの知識であるが、こうすることによりプロダクションシステム部では、情報の変換などをいちいちルールの形で記述する必要はなく、ルールを作成するときの見通しが良くなる。

【00019】プロダクションシステム部には、例えば次の特徴を付加させる。

1. 作業を基本的な処理単位に分けて考え、処理単位でルールを作成する。
2. ルールには、常に起動する可能性があるもの、一度

しか起動しないものの2種類に分けて、それぞれに属性を付ける。

しかも、ルールの競合を避けるために、次の基準を適用することが好ましい。

1. 一度しか起動しないルールは、常に起動する可能性のあるルールより優先度を高くする。
2. 条件部の数が多いものほど、優先度を高くする。
3. 最初に発見されたルールの優先度を高くする。

【00020】ルールの条件節では、フレームで構成される種々のデータが参照される。参照されるフレーム中のスロットに、if-calledなどの付加手続きがあれば、これが起動されるようにする。付加手続きは、ロボットの作業に有効なデータを生成するものを用意することができる。例えば、挿入作業では、ピンと穴の方向を比較する必要がある。そこで、ロール、ピッチ、ヨーで表現される姿勢から、手先のアプローチベクトルを生成するものを付加手続きとして用意しておく。この付加手続きにより穴の方向ベクトルとの比較を行うことができる。また、ピンを穴に挿入する際に、手先の柔らかさを自動的に調節する手続を、穴というフレームの付加手続きとして記述し、コンプライアンスパラメータの自動調節機能を実現する。

【00021】作業の計画は、プロダクションシステム部の推論により行われる。推論が開始され、ルールが起動されると、ルールの実行部にあるロボットの動作命令が実行される。また、プロダクションシステム部には、プラン(PLAN)というフレームを用意することが好ましい。作業の状況を把握し易くするためである。このフレームは、作業をいくつかの段階に分けて表示するためのものである。完了した作業段階に対応するスロットにはtrueが入り、完了していないスロットにはfalseが入るようにする。このスロットの値を見ることで作業の状態を確認できるようにするのである。また、スロット値は、条件に合わなくなった場合に、他のフレームのスロットの付加手続きにより変更され、FALSEに戻すこともできるようにする。例えば、図2に示すように、A位置でワーク30をロボットハンド32で把持し、B位置に置く動作を行わせる場合には、図3に示すように、PLANのフレームに、GRIP WORK, MOVE TO B, ENDという3つのスロットを用意する。

【00022】この場合の作業は、次のようにして実行される。

1. 全てのスロット値がFALSEであることを見て、作業を開始する。
2. ワーク30を把持するために、ロボットハンド32をA位置に移動させ、ワーク30を把持したときに、GRIP WORKのスロット値をTRUEにする。
3. B位置にロボットハンド32を移動させ、ワーク30を置き、MOVETOBのスロット値をTRUEにする。
4. ワーク30を離し、元の位置に戻り、ENDのスロッ

ト値をTRUEにする。

【00023】また、作業の途中でワークを落としたりすると、把持力を検出しているスロットにある付加手続きが起動し、GRIP WORKのスロット値をFALSE に書き直すようにしても良い。これに対応するルールを作成しておくことにより、ワークの取り落しのエラー処理を実行することができる。

【00024】次に、このようなコンプライアンス制御装置2を用いた本発明の一実施例に係るコンプライアンス制御方法について説明する。本実施例では、丸棒の嵌め合い作業に関して人間の経験に基づく知識データを、図1に示す知識ベース部14に記憶させ、図4、5に示すような丸棒34の嵌合穴36に対する嵌合作業を行った。

【00025】作業は、次のようにして行われるように、作業に用いる情報を扱うフレームを図6のように設定した。また、PLANのフレームは、図7のように設定した。作業手順を次に示す。

A. 突き当て動作

1. 丸棒34の先端を、カメラで検出した穴36の位置の10mm上まで持っていく。

2. 図5(a)に示すように、丸棒34を15度程度傾斜させる。丸棒34を傾斜させるのは、穴を走査する間隔を大きくするためである。

3. 接触する平面に垂直な方向に柔らかくなるようにコンプライアンスパラメータを設定する。

4. 図5(b)に示すように、丸棒35を、作業対象に向けて1動作について5mmづつ近づける。

5. 図5(c)に示すように、丸棒34を平面に接触させた状態で接触力が8N以上になるまで1動作について5mmづつ押し込む。

図5(c)に示す状態では、コンプライアンス制御されているので、丸棒の先端は、平面に接触したままである。

【00026】B. 探索動作

1. 図5(d)に示すように、丸棒34の先端が接触する場所が嵌合穴36でない場合には、穴36を探すために、丸棒34を横に1動作につき3mmづつ移動させる。

2. 図5(e)に示すように、丸棒34の先端位置が、始めに比較して接触面より0.5mm下がった場所を穴36の位置と判断する。

3. 横方向に30mm走査して穴36を検出できなければ縦に2mm移動して、向きを変え、逆に走査する。その状態を図4に示す。

【00027】C. 挿入段階

1. 図5(f)に示すように、丸棒34を平面に対して垂直に引き起こす。

2. 全ての軸方向にコンプライアンスパラメータを設定しなおして、1動作について7mmづつ棒34を押し込む。その状態を図5(g)に示す。挿入時におけるコン

プライアンスパラメータの設定は、フレームHOLEに登録されているコンプライアンスパラメータの適用範囲と、フレームForce sensorに登録されているロボットの手先に加わる外力を入力値として、フレームHOLEに登録されているコンプライアンスパラメータを自動生成するための付加手続きにより随時計算が行われ、手先に柔軟性もち、かつ動作が安定した最適なコンプライアンスパラメータを決定する。また、このようにコンプライアンスパラメータを自動生成する処理を行う部分は、フレームシステムの付加手続きとして記述するので、各作業に対応する処理を自由に記述できる点が、特に優れている。

3. かみつき状態となったら、丸棒34を平面に対して平行なX軸あるいはY軸方向に少しづつ動かして穴36に押し込む。この状態を図5(h, i)に示す。このように丸棒34をX軸あるいはY軸方向に少しづつ動かすことで、かみつき状態が解消され、丸棒34を穴36に対して押し込み易くできる。

4. 丸棒34を押し込む力が10N以上、あるいは丸棒の押し込み量が平面に対して40mm以上になったら、丸棒34を離し、作業を終了する。その状態を図5(j)に示す。

【00028】上述したような作業手順を、図1に示す知識ベース部14に記憶させて、コンプライアンス制御を行ったところ、クリアランスが30μmの場合の嵌合作業を容易に実現できた。

【00029】なお、本発明は、上述した実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々に改変することができる。

【00030】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係るコンプライアンス制御方法及び制御装置によれば、人間の経験的な知識や判断を利用したコンプライアンス動作をロボットに記憶させ、実行できる。すなわち、作業の状況に応じたコンプライアンス動作のパターンを知識ベース化することにより、複雑な作業パターンをロボットに動作させることができ、人間の動きに近い柔軟な動作を実現できる。また、各作業対象にそれぞれ固有のコンプライアンスを記憶しておくことにより、各作業に適したコンプライアンス動作のパターンを推論することが可能になり、その推論結果に基づきコンプライアンス制御を行うことで、高度な作業に対応できる。さらに、コンプライアンスパラメータの過去の履歴を参照することにより、学習効果が期待でき、より適正なコンプライアンスパラメータを設定することができる。したがって、このような制御方法及び制御装置で制御されるロボットを、ワーク同士が相互に接触する作業、例えば精密な嵌合作業あるいは組立作業などに有効に適用することが可能になり、従来では人手に頼っていた作業の自動化及び省力化に寄与する。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明の一実施例に係るコンプライアンス制御装置の全体を示す概略ブロック図である。

【図2】図2はロボットの動作の一例を示す概略図である。

【図3】図3は知識ベース部に記憶してある知識の一例を示す概略図である。

【図4】図4はロボットを用いて丸棒の嵌合作業を行う場合の概略図である。

【図5】図5はロボットを用いて丸棒の嵌合作業を行う場合の概略図である。

【図6】図6はロボットを用いて丸棒の嵌合作業を行う場合における知識ベース部に記憶してある知識の一例を示す図である。

【図7】図7はロボットを用いて丸棒の嵌合作業を行う場合における知識ベース部に記憶してある知識の一例を

示す図である。

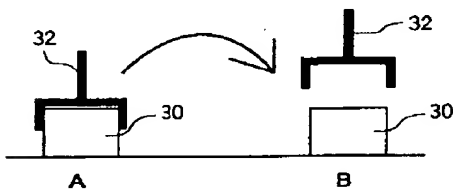
【図8】図8は代表的な6自由度コンプライアンス機構を示す外略図である。

【図9】図9は代表的なコンプライアンス制御のブロック図である。

【符号の説明】

- 2 コンプライアンス制御装置
4 ロボットコントロール手段
8 ロボット本体
10 10 カセンサ
12 知識獲得インタープリタ
14 知識ベース部
16 推論エンジン
18 ロボット動作指令部

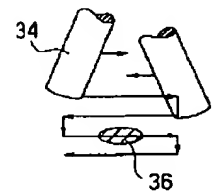
【図2】



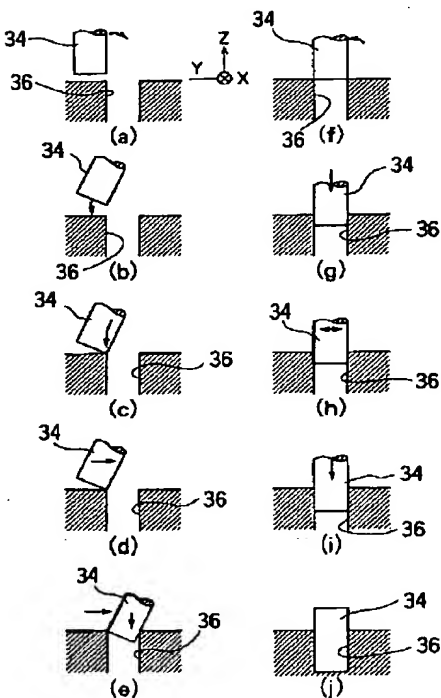
【図3】

PLAN	
grip-work	
move-to-B	
end	

【図4】



【図5】



【図7】

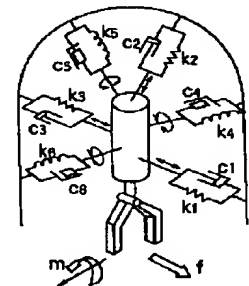
PLAN	
gripping	
searching	
insertion	

gripping	
grip_pin	

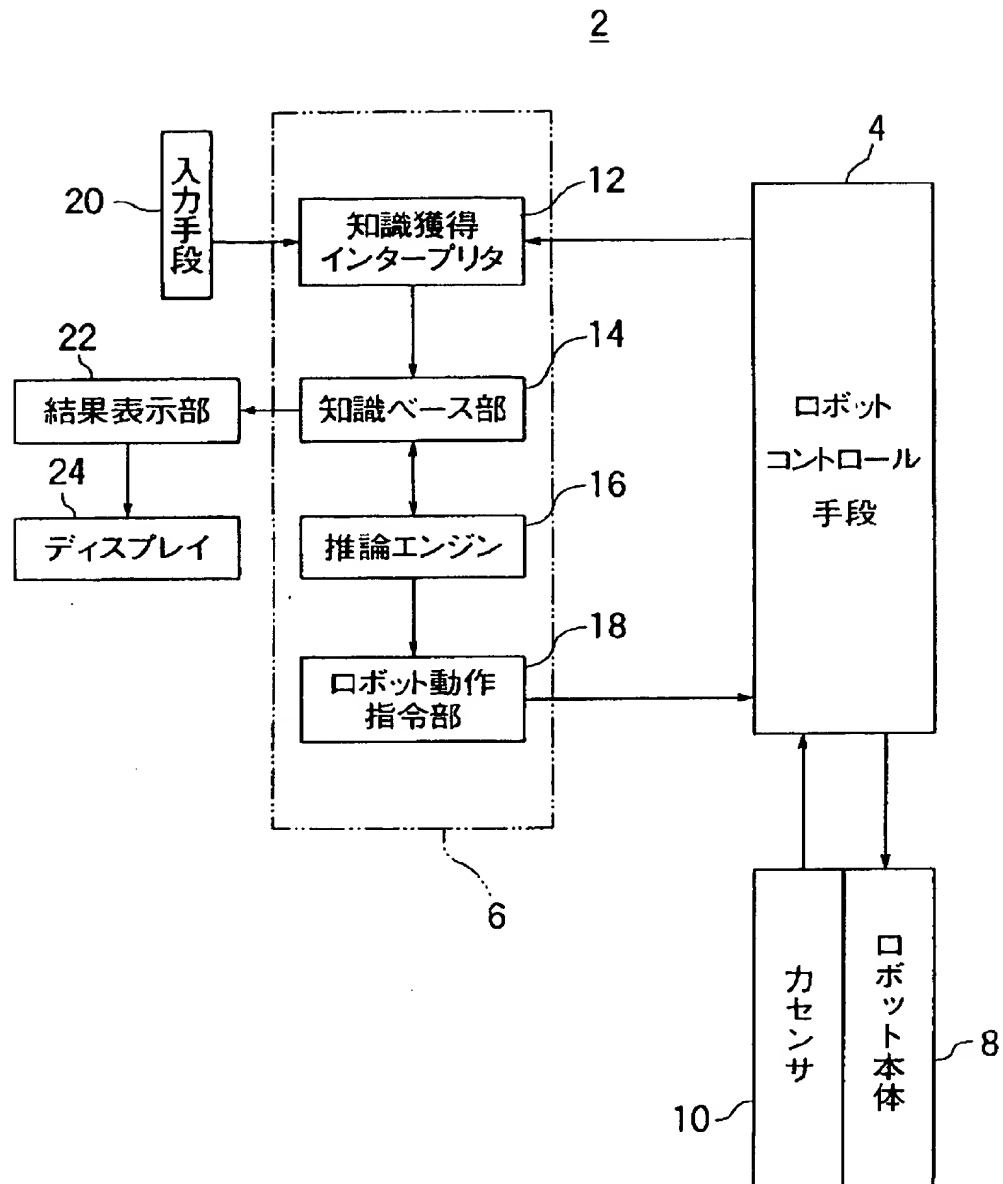
searching	
search_surf	
search_hole	

insertion	
detect_frc	
detect_pos	

【図8】



【図1】



【図6】

Robot	
Body	.....
Gripper	.....
Force sensor	.....
Compliance	.....
Vision	.....

Body	
Coordinate	.....
Position	.....
Direction	.....

Gripper	
Width	.....
Force	.....

Force sensor	
Coordinate	.....
force x	.....
force y	.....
⋮	

Compliance	
Coordinate	.....
⋮	

Object	
Hole	.....
Pin	.....

Hole	
Coordinate	.....
Diameter	.....
Depth	.....
Position	.....
Direction	.....

Pin	
Coordinate	.....
Diameter	.....
Length	.....
Position	.....
Direction	.....

Vision	
Coordinate	.....
Hole	.....
Gripper	.....

【図9】

